

# Analisi delle tolleranze: preparare il modello per il mondo reale

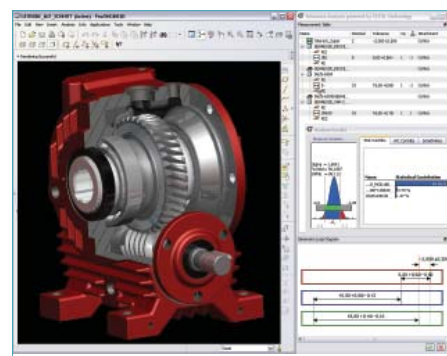


LO  
SAPEVATE

Nel mondo reale, la plastica si ritirerà, le taglierine perderanno il filo e le parti potrebbero non integrarsi perfettamente. La soluzione è l'analisi delle tolleranze, ma solo se applicata correttamente.

Prendete un lungo blocco di alluminio estruso di un contenitore, tagliatelo in 10 pezzi e quindi posizionate i pezzi da estremo a estremo. Determinate ora se possono essere reintegrati nel contenitore originale. Grazie a numerose condizioni, come la lama leggermente smussata di una taglierina, una piccola vibrazione nella macchina di fresatura o un aumento di temperatura o umidità, è molto probabile che ciò non sia possibile.

Un'azienda di progettazione tecnica che vende parti, assiemi o modelli CAD ai clienti per la produzione finale è fin troppo consapevole dei rischi di una variazione nel processo di produzione. Il modello CAD rappresenta la versione ideale del prodotto che verrà realizzato dal partner di produzione o dal cliente. A meno che le specifiche del modello non tengano conto di un qualche livello di variazione di produzione, il cliente potrebbe ritrovarsi con una quantità inaccettabile di scarti di produzione e l'azienda potrebbe finire per perdere il cliente.



Con Pro/ENGINEER® Tolerance Analysis Extension basato su tecnologia CETOL®, PTC consente agli ingegneri progettisti di eseguire facilmente analisi delle tolleranze 1D senza uscire dall'applicazione Pro/ENGINEER.

## L'esigenza di un equilibrio

A causa della crescente globalizzazione dello sviluppo prodotto e delle continue pressioni per un time-to-market sempre più ridotto, è oggi essenziale conoscere le realtà della variazione nel processo di produzione ("comportamento variazionale"). Disponendo di meno tempo e minori opportunità per realizzare e analizzare prototipi fisici, gli attuali team di progettazione dislocati in tutto il mondo e basati su Web utilizzano prototipi virtuali per promuovere l'innovazione e prendere decisioni informate in merito allo sviluppo prodotto. Ai fini di questo processo è essenziale che l'ingegnere progettista sia in grado di prevedere innanzitutto l'impatto delle variazioni di produzione sul modello CAD e quindi di impostare le tolleranze di conseguenza.

L'impostazione manuale delle tolleranze, tuttavia, non è semplice come può sembrare. Il metodo più facile per l'ingegnere progettista consiste nell'applicare, se disponibili, tolleranze standard, che sono in genere associate a parti e assiemi comuni. Questa procedura può tuttavia causare problemi in seguito, in fasi successive della progettazione o quando il modello viene messo in produzione.

In primo luogo, le tolleranze standard potrebbero semplicemente non essere adatte alle quote finali del prodotto da realizzare. Il progettista potrebbe pertanto essere costretto ad accettare compromessi nel corso dell'evoluzione del modello o dell'assieme e tali compromessi potrebbero pregiudicare la qualità o causare ritardi nel time-to-market del prodotto. In secondo luogo, l'utilizzo di tolleranze standard può risultare costoso per la produzione, ad esempio se le tolleranze standard sono più strette di quanto necessario per il prodotto specifico. Tolleranze troppo strette possono costringere il reparto di produzione a utilizzare macchinari specializzati. Se il progettista può impostare tolleranze meno rigorose, ma comunque entro le specifiche del prodotto, il reparto di produzione può lavorare la parte utilizzando macchinari meno costosi.

Anziché procedere con tolleranze generiche standard, è pertanto opportuno che il progettista imponga tolleranze con il livello di precisione necessario. Tolleranze troppo strette possono causare percentuali di scarto o costi di produzione più elevati del necessario, mentre con tolleranze troppo ampie è possibile che il prodotto, anche se idoneo alla fabbricazione, non soddisfi i requisiti dell'utente finale.

## Funzionamento del software di analisi delle tolleranze

Il software di analisi delle tolleranze, tradizionalmente molto complesso e conveniente solo per aziende manifatturiere di grandi dimensioni, si sta diffondendo presso aziende di progettazione tecnica di piccole e medie dimensioni tramite l'integrazione con il software CAD 3D.

Essenzialmente, il funzionamento del software di analisi delle tolleranze si basa sulla raccolta della massima quantità possibile di informazioni sul modello e sul comportamento previsto del modello. Vengono quindi applicati algoritmi avanzati per mostrare al progettista CAD, in forma grafica e quasi in tempo reale, l'impatto di una modifica di tolleranza sul prodotto.

Nell'ambito del processo di modellazione, ad esempio, il software di analisi delle tolleranze identifica le quote critiche del modello e quindi introduce variazioni per testare le sensibilità delle quote in diversi scenari di produzione e prestazioni.

Se utilizzato nel software CAD 3D, il software di analisi delle tolleranze può rivelarsi prezioso nell'intero processo di realizzazione del modello. Di seguito sono riportati alcuni esempi.

- **Modellazione concettuale** – Anche con un modello di ossatura, il software di analisi delle tolleranze consente di determinare la posizione delle quote critiche e, con l'input del reparto di produzione, le tolleranze possibili in base agli utensili e/o ai cespiti esistenti. Queste informazioni consentono di decidere se il prodotto da progettare rientrerà nel budget designato.
- **Modellazione di assiemi funzionali** – In questo contesto assumono un ruolo importante interfacce cuscinetto, giunti, bulloni, materiali e altri fattori ed è particolarmente utile poter modellare una gamma estesa di variazioni, superiore a quanto supportato da un prototipo fisico. Anche in questo caso, una semplice modifica di progettazione può compensare una condizione che altrimenti richiederebbe una modifica costosa della lavorazione. Per applicare una tolleranza accettabile al gioco della sede del treno valvole di un motore automobilistico, ad esempio, il progettista CAD potrebbe modificare la posizione del foro centrale della guida delle valvole e apportare così una modifica molto meno costosa rispetto all'aggiunta di un nuovo processo di lavorazione.
- **Modellazione dettagliata di parti** – Quando il modello è pressoché completato, l'analisi delle tolleranze può consentire al progettista e all'ingegnere di produzione di concordare gli eventuali compromessi necessari nel modello "in fabbricazione", ad esempio per supportare una determinata impostazione della macchina o l'esecuzione simultanea su due diverse macchine.

## Semplificazione del processo: 3D, 2D e 1D

Il software di analisi delle tolleranze può offrire varie funzionalità. I pacchetti indipendenti di fascia alta sono in grado di calcolare le tolleranze per assiemi e componenti complessi utilizzando algoritmi 3D e 2D per combinare limiti di tolleranza su più assi. Pacchetti di questo tipo si rivelano preziosi per applicazioni di test specializzate, ma sono in genere non necessari per gli ingegneri progettisti, la cui principale esigenza in termini di supporto del calcolo delle tolleranze riguarda l'analisi di accumulo lineare o unidimensionale (1D).

Il dominio più frequentemente utilizzato per le tolleranze è l'analisi 1D, poiché la stragrande maggioranza dei prodotti viene assemblata in modo lineare. Anche un prodotto con quattro vertici orizzontali (sinistro, destro, anteriore e posteriore) può essere considerato un assieme lineare: prima i parametri di destra e di sinistra e quindi i parametri anteriori e posteriori.

Poiché è molto diffusa e molto facile da eseguire rispetto a 2D e 3D, l'analisi 1D costituisce uno strumento efficiente per gli ingegneri progettisti in tutti i casi in cui esiste un accumulo orizzontale o verticale. Un esempio di accumulo orizzontale è rappresentato da un cambio per la trasmissione di un'automobile, un trattore o un camion. In questo caso, il progettista deve innanzitutto assemblare gli ingranaggi lungo un mandrino, quindi far passare il mandrino attraverso l'alloggiamento del cambio, attraverso due guarnizioni e infine nel vano motore. Un esempio di accumulo verticale è un assieme elettronico con schede a circuito stampato impilate una sull'altra.

Gli ingegneri progettisti possono inoltre utilizzare l'analisi 1D in alcune situazioni 2D o 3D, se determinano che la causa del problema di tolleranza è unidimensionale. Ad esempio, il cambio potrebbe richiedere guarnizioni più spesse su un lato rispetto all'altro. Questa differenza potrebbe determinare la presenza di materiale aggiuntivo su un lato. Il progettista, tuttavia, non deve preoccuparsi di trovare spazio per il materiale aggiuntivo nella larghezza del cambio, poiché è disponibile spazio di riserva. Pertanto, il problema principale per l'analisi è comunque rappresentato dall'accumulo guarnizioni-alloggiamento del cambio.

## Prendere decisioni informate

L'analisi unidimensionale consente agli ingegneri progettisti di prendere decisioni di progettazione più informate in diversi modi.

I progettisti possono verificare che le tolleranze effettive siano vicine agli obiettivi di tolleranza stabiliti nelle specifiche dei requisiti originali. Se i valori effettivi sono ampiamente compresi entro i limiti degli obiettivi, potrebbe esistere la possibilità di ridurre il costo di produzione impostando tolleranze meno rigorose. I progettisti possono inoltre provare "al volo" più schemi di tolleranze per individuare la soluzione ideale per un determinato problema tra diverse alternative. Utilizzato in questi modi, il software di analisi delle tolleranze può fornire vantaggi significativi agli ingegneri progettisti che desiderano produrre modelli e prodotti con il massimo livello di qualità possibile al costo più basso possibile.

## PTC: prospettive del fornitore

Con Pro/ENGINEER® Tolerance Analysis Extension basato su tecnologia CETOL®, PTC consente agli ingegneri progettisti di eseguire facilmente analisi delle tolleranze 1D senza uscire dall'applicazione Pro/ENGINEER. Mantenendo l'associatività con il modello Pro/ENGINEER, l'estensione di analisi delle tolleranze garantisce numerosi vantaggi: qualsiasi modifica apportata nel modello si riflette automaticamente nei parametri dell'analisi, il software convalida automaticamente quote e loop di quote, sono disponibili grafici facilmente comprensibili per il confronto delle variazioni di progettazione da parte degli ingegneri progettisti e sono supportate metodologie di progettazione Six Sigma che consentono agli ingegneri progettisti di realizzare modelli ottimizzati per la fabbricazione.

Per l'analisi 2D e 3D, gli ingegneri responsabili dei test o i progettisti Pro/ENGINEER possono passare facilmente al software per la modellazione di assiemi CETOL 6s, fornito dal partner di PTC Sigmetrix, LLC. Poiché il software CETOL 6s per Pro/ENGINEER utilizza le stesse convenzioni di interfaccia di Pro/ENGINEER Tolerance Analysis Extension basato su tecnologia CETOL, gli ingegneri possono passare agevolmente da un'applicazione all'altra.

## Analisi delle tolleranze: vantaggi per il fornitore e per il cliente

È evidente che l'analisi delle tolleranze può essere utile per il progettista CAD in molti modi e in più fasi della progettazione. È inoltre evidente che, a causa dell'attuale combinazione di team di progettazione dislocati in tutto il mondo e time-to-market più ridotti, l'analisi delle tolleranze non è più un lusso per le aziende di sviluppo prodotto di piccole e medie dimensioni, bensì una necessità.

L'analisi delle tolleranze consente di raggiungere rapidamente la maturità delle progettazioni e il mercato non solo riducendo l'esigenza di prototipi fisici, ma anche migliorando l'innovazione grazie alla realizzazione virtuale di scenari ipotetici. Ancora più importante è forse il fatto che il software di analisi delle tolleranze può migliorare notevolmente la collaborazione con i partner di produzione o i clienti, poiché consente di fornire informazioni sulle tolleranze convalidate fin dalle prime fasi del processo di progettazione, ovvero quando è più essenziale per determinare la qualità del prodotto e controllare i costi. Questo esame tempestivo delle prestazioni del prodotto consente al cliente di pianificare la produzione e ciò può rappresentare un vantaggio significativo sia per il cliente sia per il fornitore.